

武汉东湖底栖藻类在不同基质上生长的比较*

裴国风, 刘梅芳

(中南民族大学生命科学院, 武汉 430074)

摘 要: 测定了富营养化武汉东湖中的底栖藻类在不同人工基质上建群发展为成熟群落的生物量(Chl.a), 定性分析了人工和天然基质上成熟硅藻群落的种类组成和结构特征. 通过比较建群期间底栖藻类在花岗岩、玻璃、塑料(PVC)和木板 4 种不同人工基质上的生物量变化, 发现底栖藻类在 PVC 上的生物量峰值(Chl.a, $71.0\mu\text{g}/\text{cm}^2$)明显高于其它人工基质, 说明 PVC 是最适合底栖藻类生长的人工基质. 分析发现人工基质花岗岩上底栖硅藻群落的种类组成、主要优势种类、群落的相似性指数、多样性指数都和天然基质上的硅藻群落是高度相似的, 显示该人工基质能够代表天然基质上的藻类群落, 表明花岗岩应该是以底栖藻类作指示生物监测和评价水质的理想人工基质.

关键词: 底栖藻类; 人工基质; 生物量; 硅藻群落; 武汉东湖

Comparison of benthic algal composition developed on different substrata in Lake Donghu, Wuhan

PEI Guofeng & LIU Meifang

(College of Life Sciences, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, P.R.China)

Abstract: Biomass (Chl.a) of benthic algae colonized and developed mature community on different artificial substrata was determined in eutrophic lake Donghu, and species composed and structure characteristic of mature diatom communities on artificial and natural substratum were analysed qualitatively. Biomass variance of benthic algae was compared on four different artificial substratum, granite stone, glass, plastic (PVC) and pine wood during the colonization period, and the peak biomass of benthic algae (Chl.a, $71.0\mu\text{g}/\text{cm}^2$) on PVC was significantly higher than that of the other artificial substrata, which showed PVC was the most suitable artificial substratum for benthic algae. Species composition, dominant species, similarity index and diversity index of benthic diatom communities showed a relatively high degree of consistency between natural and granite artificial samplers, which suggested granite should be the most favourable artificial substratum with benthic algae used as indicator biology that monitored and evaluated water quality.

Keywords: Benthic algae; artificial substrata; biomass; diatom community; Lake Donghu(Wuhan)

底栖藻类是淡水湖泊中的重要初级生产者和水化学调节者, 其生境相对稳定, 处于生态系统食物链的始端, 生活周期短, 对污染物反应灵敏, 其种类组成可以很好地指示水体的营养状况, 进而为水质变化提供早期预警信息^[1]. 由于缺少标准的方法, 天然基质上底栖藻类群落的研究受到一定程度的限制^[2], 而人工基质具有标准的表面积和时间的可知性, 为底栖藻类的研究提供了极为有效的方法, 其优点在于, 标准的采样面积和可控制的样点选择增加了采样的精确度, 减少了重复取样因生境差异所产生的误差, 有利于不同样点之间的比较, 也便于进行统计学分析^[3]. 人工基质不仅用于研究水体中底栖藻类群落的建群、演替、生产力动态、污染评价和有毒物质的测量等; 还用来转移水体中过多的营养物质, 降低水体富营养化^[4]. 底栖藻类群落在人工基质上的生长代表了一个小而简单的生态模式系统, 可以在较短时

* 国家自然科学基金(30570046)资助. 2008-05-15 收稿; 2008-10-21 收修稿稿. 裴国风, 女, 1969 年生, 副教授; E-mail: algae@sohu.com.

间内迅速收集到最真实的底栖藻类实际生长状况的实验数据, 并且具有重复性好的优点. 此时研究者最关心的问题是针对不同种类的底栖藻类而言, 哪一种基质是最合适的呢? 许多有关不同人工及天然基质上底栖藻类群落的比较研究结果存在很大的差异, 如培育时间(2 周至 4 个月), 种类组成和生物量等, 大多数研究结果表明若培养时间足够长, 人工基质上生长的底栖藻类群落能够代表天然基质上的群落^[2,5]; 有关不同人工基质上底栖藻类群落的生长情况的研究工作也没有得出一致的结论^[6-7], 这可能与他们的研究目的、被研究的环境和基质的使用方法等不同有关, 研究较多的是玻璃片和粘土瓦片这两种典型的人工基质, 综合这些文献的结果, 不难看出玻璃片一直被使用而且仍然是最受欢迎的人工基质^[2,6], 石头往往作为天然基质被用于附石藻类的研究^[5], 而塑料、木头则研究较少或被低估^[3]. 本研究目的在于通过不同人工基质和天然基质的比较, 寻找能代表天然基质上底栖藻类群落的最适人工基质, 完善用底栖藻类作为指示生物评价湖泊营养状况的方法; 同时比较在浅水富营养化湖泊中这些人工基质上的底栖藻类的生长情况, 选择适用于藻类处理系统的人工基质. 因此, 本研究以浅水富营养化的武汉东湖为代表, 对四种不同人工基质玻璃、松木板、PVC 管、花岗岩和天然基质上底栖藻类群落的生物量, 硅藻的种类组成、相似性系数及硅藻群落主要优势种的相对丰富度进行了比较分析, 以期通过试验的初步研究探究在生物监测中人工基质的应用潜能, 也为将合适的人工基质用于藻类处理系统, 转移富营养化水体中过剩的氮、磷营养及有毒物质, 提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 人工基质的制备及样品的采集

用 15cm×8cm×1cm 大小的花岗岩、玻璃、PVC(聚氯乙烯)和松木板作为人工基质, 清洗后凉干, 在每个基质块的一端粘贴尼龙绳, 在尼龙绳的自由端系上 eppendorf 管作为浮子, 在不同的绳长处打结, 以便知道人工基质在水体中所处的深度. 本研究在 2006 年的春季(2-5 月), 在武汉大学工学部附近的东湖沿岸带设立实验样点, 分别投入四种不同的人工基质各 80 块于沿岸带 30cm 深的水中, 每隔四天取一次样, 每次取样随机从水中取出四种人工基质各 3-5 块, 直到底栖藻类群落的生物量达到最高峰值并出现下降趋势为止. 在人工基质上的底栖藻类群落成熟稳定后^[8], 即实验的第 8 周, 在投放人工基质的区域同时随机收集四种人工基质和天然基质(卵石)各 3-5 块, 放入样品收集袋, 贴好标签, 置于冰盒转移到实验室中.

1.2 样品的处理及各数量指标的测定

用硬毛牙刷将一定面积的人工或天然基质表面上的底栖藻类样品洗下, 定量到 200ml, 分成四份: 一份用于测定底栖藻类的生物量或现存量, 约 20ml 的样品用 90%的丙酮溶液提取叶绿素, 方法参照 APHA^[9], 测定 Chl.a 的含量; 另一份约 50ml 的样品保存于 5%的福尔马林溶液中, 用于底栖硅藻的种类鉴定和定量分析. 硅藻的预处理参照胡鸿钧等^[10], 在光学显微镜(1000×)下, 用视野法对硅藻的永久制片进行计数, 每片计数不得少于 500 个. 藻类的鉴定参照 Krammer & Lange-Bertalot^[11]、Hustedt^[12]; 剩下的样品用于测定无灰干质(Ash-Free Dry Mass, AFDM), 方法参照 APHA^[9].

1.3 数据的处理及统计分析

SIMI(Similarity)指数的计算: 用 Sullivan^[13]使用的 Stander 氏公式, 即相似性公式来比较不同基质上底栖硅藻群落的结构差异. 统计学分析包括单因素方差分析、双因素方差分析、相关性分析及显著性检验均在 SPSS 11.0 中完成.

2 结果与讨论

2.1 不同人工基质上底栖藻类生物量的变化

观察发现, 从不同人工基质上底栖藻类生物量(Chl.a)的变化来看, 底栖藻类的建群过程都可以明显的分为 3 个阶段, 其变化特征具体表现为: 建群早期(延迟期), 生物量低, 增加缓慢; 指数生长期, 生物量在短时间内快速增加, 并达到最高峰值(Peak Biomass, PB); 衰亡期, 生物量明显减少(图 1). 当然, 不同基质, 底栖藻类生物量变化的各个阶段又表现出不同的特征. 花岗岩、玻璃和 PVC 基质, 底栖藻类在建群的第 28d 左右, 生物量达到最高峰值, 即 Chl.a 的浓度峰值分别为 59.7、56.8 和 71.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 而木板

基质上底栖藻类生物量达到峰值所需的时间比其它基质长(32d 左右), 生物量峰值也是最低的(48.7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). 河流中的底栖藻类在人工基质上达到最高 PB 所需的时间变化很大, 在适宜的条件下, 可以在两周内达到最高 PB^[14], 其他条件下的建群可能会需要数周到 100d 的时间^[15]. 然而, 在静水条件下, 生物量达到峰值所需的时间通常是 4-7 周^[2]. 我们的实验结果表明在营养水平相对较高的富营养化东湖, 达到最高生物量峰值所需的时间相对较短. 所以就生物量的大小和生物量达到峰值所需的时间而言, 在富营养湖泊中, 最适合底栖藻类生长的人工基质是 PVC. 若对底栖藻类群落具有固定生活在各种基质上形成藻垫的习性加以利用, 可使水体自净能力得以强化. Cattaneo 等也发现塑料是最适合底栖藻类生长的人工基质^[6], 也有认为底栖藻类不生长在塑料上^[3], 这些结果的不同可能与基质的性质、环境因子(主要是营养物质的浓度)有关. Craggs^[16]等将着生藻类处理系统应用于城市三级废水处理. 该系统的设计非常简单, 让污水以浅水溪流的方式流经合适的人工基质, 基质上是由天然的底栖藻类群落组成的藻垫, 污水中的污染物可通过藻垫的吸收、吸附、氧化分解、转化、过滤和沉淀等过程而得以去除; 然后对藻类进行周期性地收获. 此外, 也可以将人工基质 PVC 浸入富营养化浅水湖泊作为底栖群落的生境, 使底栖群落在基质上建群和生长的同时积累水体中的氮磷营养物, 再通过从湖泊中移走基质达到除去氮磷的目的, 从而为受损湖泊的恢复, 提供一条经济有效的途径.

2.2 不同基质上底栖藻类的种类组成

在人工基质投入湖水中培育到第 8 周时, 将人工基质和存在于同一区域的天然基质上的底栖藻类的种类组成进行比较(表 1), 分析发现花岗岩、PVC 基质上丝状绿藻群落的种类组成和天然基质相同, 主要是小毛枝藻(*Stigeoclonium tenue* Kütz.)、团集刚毛藻(*Cladophora glomerata* Kütz.)和一种鞘藻(*Oedogonium* sp.); 此外, 这些基质上还生长有少量相同的丝状蓝藻. 比较发现硅藻群落的种类组成在各基质上的丰富度也存在一定的差异, 其中花岗岩基质上硅藻群落的种类组成和天然基质的差异不显著($P>0.05$), 而玻璃、PVC 和木板上硅藻群落的种类组成和天然基质(卵石)差异显著($P<0.05$). Lane 等比较了澳大利亚的 Hiawatha 湖和 Minnie 湖的天然和人工基质上硅藻群落的结构, 发现培育 29-68d 的玻璃片和粘土瓦片上的硅藻群落高度相似, 而且人工基质上硅藻群落的组成和天然基质一致^[7].

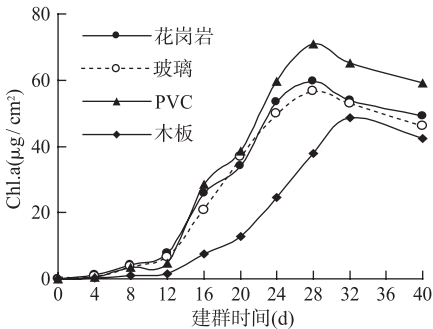


图 1 底栖藻类 Chl.a 的含量变化
Fig.1 Chl.a concentration change of benthic algae

表 1 不同基质上底栖藻类的种类数
Tab.1 List of benthic algae taxa found on different submerged substrata

种类	不同基质				
	花岗岩	玻璃	PVC	木板	天然基质
绿藻	3	2	3	2	3
<i>Achnanthes</i> spp.	5	4	6	3	6
<i>Amphora</i> spp.	1	0	1	0	2
<i>Cocconeis</i> spp.	3	3	2	2	3
<i>Cymbella</i> spp.	5	5	4	5	6
<i>Gomphonema</i> spp.	4	8	4	3	3
<i>Melosira</i> spp.	2	1	1	2	3
<i>Navicula</i> spp.	10	7	9	6	12
<i>Nitzschia</i> spp.	3	2	2	2	3
<i>Synedra</i> spp.	5	4	5	6	5
其它硅藻	5	2	1	1	5

不同基质之间底栖硅藻群落的相似性指数显示花岗岩、玻璃和天然基质之间的群落相似性指数值均大于 95%, 其中花岗岩和天然基质的硅藻群落最相似(98.5%); 然而, PVC、木板和天然基质之间的群落相似性指数值均小于 90%(表 2). 不同基质上底栖藻类的种类组成及其相似性比较的结果说明, 花岗岩、玻璃均和天然基质上的群落组成都高度接近, 由于天然基质年龄的不可知性和不规则性, 不可避免的会给实验结果带来误差, 所以在以底栖藻类为指示生物的水质监测中, 用适合的人工基质替代天然基质更为方便有效. Danilov 和 Ekelund 的研究表明, 玻璃和木板的底栖藻类群落不同营养状况的湖泊中明显不同, 所以均能够用于评价湖泊的营养状况^[3]; 本试验中的花岗岩和玻璃都可作为天然基质的代表.

表 2 不同基质之间底栖硅藻群落的相似性指数
Tab.2 Similarity index of benthic diatom communities among different substrata

不同基质	花岗岩	玻璃	PVC	木板	天然基质
花岗岩	1	0.954	0.884	0.878	0.985
玻璃		1	0.896	0.862	0.957
PVC			1	0.873	0.927
木板				1	0.863
天然基质					1

2.3 不同基质底栖硅藻群落的主要优势种类

不同基质的硅藻群落中, 相对丰富度大于 5%的优势种类均包括 *Gomphonema parvulum* Kütz., *Nitzschia amphibia* Grun., *Synedra ulna* Kütz., *Melosira varians* Ag., *Fragilaria vaucheriae* Kütz.等, 它们在不同基质群落中的相对丰富度之和均大于 65%, 其中 *Melosira varians* 和 *Gomphonema parvulum* 是各基质群落的绝对优势种(图 2). 底栖藻类的群落结构由靠胶垫松散附着的丝状 *Melosira varians*(主要优势硅藻)和绿藻混生而成, 而团集刚毛藻和鞘藻等绿藻上附生着 *Synedra ulna*、*Gomphonema parvulum*、*Nitzschia amphibia*、

Diatoma vulgare Bory 等优势种硅藻. 比较不同人工基质和天然基质的主要优势群落, 发现这些群落的优势种类组成及相对丰富度十分相似, 说明在培养较长时间后(8 周), 人工基质上底栖硅藻优势群落的结构已经和天然基质上的没有明显差别, 这与 Eulin 和 LeCohu^[17]的报道是一致的.

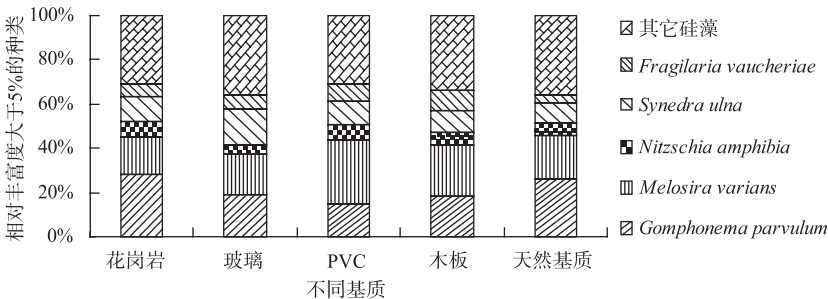


图 2 人工基质和天然基质上底栖硅藻主要优势种的组成比较

Fig.2 Comparison of benthic diatom dominant species composition on artificial and natural substrata

2.4 不同基质底栖硅藻群落的比较

从底栖硅藻群落的种类丰富度、香农多样性指数及辛普森指数来看, 花岗岩和天然基质最接近, 但是天然基质的相对丰富度>1%的种类却比人工基质少, 这是因为底栖藻类的生命周期相对较短, 对环境的变化可以作出快速反应^[18], 本研究中人工基质的培养时间为 8 周, 其上的群落代表了真正的时间和空间生境中的生命有机体, 反映了环境的实际变化动态. 由于天然基质上的硅藻, 包括了死亡体和现存活体, 是长期积累的结果, 这是导致天然基质上的硅藻密度(2.63×10⁶ind./cm²)略高于人工基质的主要原因(表 3). 所以接近天然群落的人工基质上的现存底栖藻类是当前环境状况的最好代表, 可以增加水质监测的准确度. Hoagland 等^[2]在一个浅水富营养化的水库中, 春季底栖藻类在第五周达到 2.53×10⁷ind./cm²的最大细胞密度. 在河流中, 这个值可能会达到 1.3×10⁷ind./cm² 或者更高^[19]. 本研究只对底栖群落中的硅藻细胞

进行了定量, 但不同基质的硅藻密度值和这些报道中的接近, 这可能是水体富营养化的结果.

表 3 不同基质上底栖硅藻群落的比较
Tab.3 Comparison of benthic diatom community from different substrata

参数	不同基质									
	花岗岩		玻璃		PVC		木板		天然基质	
种类丰富度	43		36		35		30		48	
相对丰富度>1%的种类数	20		14		18		18		14	
香农指数	3.45	0.6	3.21	0.4	3.19	0.7	3.02	0.3	3.57	0.5
辛普森指数	0.91	0.05	0.86	0.07	0.88	0.06	0.78	0.04	0.93	0.07
硅藻密度(10^6 ind./cm ²)	2.46	0.01	2.08	0.05	2.36	0.04	1.91	0.02	2.63	0.06
现存量(Chl.a) (μg/cm ²)	67.8	3.5	63.9	2.6	68.6	4.3	64.2	5.1	68.5	5.2
AFDM(mg/cm ²)	2.89	0.09	2.78	0.05	2.68	0.03	2.56	0.01	3.35	0.07

比较发现, 人工基质花岗岩、PVC 和天然基质上的底栖藻类的现存量(Chl.a)都约为 68μg/cm²; 而不同基质的 AFDM 明显与底栖藻类叶绿素 a 的浓度不一致, 例如, 天然基质的 AFDM(3.35mg/cm²)明显高于人工基质. 虽然 Chl.a 和 AFDM 这两个参数都能够反映底栖藻类群落的现存量, 但叶绿素 a 反映整个自养生物——光合藻类, 而 AFDM 还包括其他底栖生物, 如细菌、底栖动物, 沉淀下来的有机碎屑等; 实验期间, 我们发现实验样点群落中的沉淀碎屑和异养生物所占比例较大, 所以用 AFDM 表示现存量时存在较大的偏差, 从而出现 Chl.a 和 AFDM 不一致的现象, 该结果表明, 对富营养化的东湖而言, AFDM 在反映底栖藻类的现存量时没有 Chl.a 敏感.

3 参考文献

[1] Liboriussen L, Jeppesen E. Structure, biomass, production and depth distribution of periphyton on artificial substratum in shallow lakes with contrasting nutrient concentrations. *Freshwater Biology*, 2006, **51**: 95-109.

[2] Hoagland KD, Roemer SC, Rosowski JR. Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). *Amercian Journal Botany*, 1982, **69**: 188-213.

[3] Danilov RA, Ekelund NA. Comparison of usefulness of three types of artificial substrata when studying settlement patterns of periphyton in lakes of different trophic status. *Journal of Microbiological Methods*, 2001, **45**: 167-170.

[4] Hill BH, Willingham WT, Parrish LP. Periphyton community responses to elevated metal concentrations in a Rocky Mountain stream. *Hydrobiologia*, 2000, **428**: 161-169.

[5] Barbiore RP, Welch EB. A multi-lake comparison of epilithic diatom communities on natural and artificial suestrates. *Hydrobiologia*, 2000, **438**: 157-170.

[6] Cattaneo A, Amireault MC. How artificial are artificial substrata for periphyton? *Journal of the North American Benthological Society*, 1992, **11**: 244-256.

[7] Lane CM. A comparison of diatom community structure on natural and artificial substrata. *Hydrobiologia*, 2003, **493**: 65-79.

[8] 裴国凤, 刘国祥, 胡征宇. 东湖沿岸带底栖藻类群落的时空变化. *水生生物学报*, 2007, **31**: 81-88.

[9] APHA. Standard methods for the examination of water and waste water(19th eds). Washington DC: American Public Health Association, 1995: 214-278.

[10] 胡鸿钧, 李饶英, 魏印心等. 中国淡水藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 525-258.

[11] Krammer K, Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa Bacillariophyceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. Band 2/1: Naviculaceae; Band 2/2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae; Band 2/3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae; Band 2/4: Achnantaceae. (Eds H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning & D. Mollenhauer), 1986-1991.

[12] Hustedt F, Die kieselalgen Deutschtigung Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. In: Kryptogamenflora von Deutschland, Österreichs und Schweiz (Ed. L. Rabenhorst).

- Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1927-30, 7(1).
- [13] Sullivan MJ. Diatom communities from a Delaware salt marsh. *Journal of Phycology*, 1975, **11**: 384-390.
- [14] Stevenson RJ. Benthic algal community dynamics in a stream during and after a spate. *Journal of the North American Benthological Society*, 1990, **9**: 277-288.
- [15] Biggs BJE. Patterns in benthic algae of streams. In: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lower RL eds. *Algal ecology*. San Diego: Academic Press, 1996: 31-56.
- [16] Craggs RJ, Adey WH, Jenson KR *et al.* Phosphorus removal from wastewater using an algal turf scrubber. *Water Science and Technology*, 1996, **44**: 427-433.
- [17] Eulin A, LeCohu R. Epilithic diatom communities during the colonization of artificial substrates in the River Garonne (France). Comparison with the natural communities. *Archive Für Hydrobiologie*, 1998, **143**: 79-106.
- [18] Lowe RL. Periphyton patterns in lakes. In: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lower RL eds. *Algal Ecology*. San Diego: Academic Press, 1996: 31-56.
- [19] Roberts S, Sabater S, Beardall J. Benthic microalgal colonization in streams of differing riparian cover and light availability. *Journal of Phycology*, 2004, **40**: 1004-1012.

“水库生态与环境专辑” 征稿通知

我国目前有各类水库 85000 余座, 水面面积约 20000km², 总库容超过 5000×10⁸m³. 目前, 我国是世界上水力发电最多的国家, 世界上 15m 以上的大坝 50% 建在中国. 水库为中国发电、防洪、养殖、旅游、供水、航运等方面做出了巨大的贡献, 同时由于我国地形、气候多样, 不同地区的水库建设、管理和利用也不尽相同, 随着人们生活水平的提高, 对水库生态、环境尤其是水质的关注也越来越迫切. 近年来, 水库水环境问题的严峻性, 正引起越来越多的管理、研究和产业部门的关注. 同时, 水库生态学和作为人工湖的水库湖沼学研究也由于中国水库的多样性而引起世界的瞩目. 为加强我国水库工作者在水库生态与环境研究方面的交流和沟通, 推动我国水库在供水安全、生态系统和环境演变等方面的研究和管理水平, 《湖泊科学》决定组织一期有关水库生态与环境的专辑, 计划于 2010 年初出版(第 22 卷, 第 2 期, 2010 年 3 月出版).

专辑主题: 水库生态与环境

特邀编辑: 韩博平教授、胡传林研究员、蔡庆华研究员

1 征稿范围

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1) 作为人工湖的水库湖沼学; | 2) 水库生态系统要素、结构、功能的变化; |
| 3) 水库水质及供水安全; | 4) 水库水环境问题及对策; |
| 5) 水库淤积及泥沙; | 6) 水库利用与库区可持续发展; |
| 7) 特大型(如三峡)水库的生态、环境效应; | 8) 水库在流域中的作用与反馈; |
| 9) 水库—河流的耦合效应; | 10) 水库生态控制与管理. |

2 投稿要求

- 1) 投稿方式: 请投稿至: jlakes@niglas.ac.cn 或 jlakes@163.com. 投稿请注明: 水库生态与环境专辑.
- 2) 稿件格式: 参照《湖泊科学》论文格式(学报网站上提供了论文模版, 可下载; <http://www.jlakes.org>).
- 3) 投稿文章未在任何正式出版物上发表过, 也不在其它刊物的审稿过程中, 不存在一稿多投现象; 保证投稿文章的合法性(无抄袭、剽窃、侵权等不端行为).
- 4) 其他投稿须知请参阅《湖泊科学》投稿指南(<http://www.jlakes.org>).
- 5) 《湖泊科学》不收稿件审理费; 投稿作者需提交投稿声明; 录用刊发文章将收取《湖泊科学》标准版面费; 发表之后, 将按《湖泊科学》标准支付稿酬, 并赠送样刊及单行本.

3 重要日期

截稿日期: 2009 年 10 月 15 日;

录用通知发出时间: 2009 年 11 月 30 日;

录用修改稿提交日期: 2009 年 12 月 15 日;

出版日期: 2010 年第 2 期.

(《湖泊科学》编辑部; 2009 年 4 月)